

荔枝的胚胎学研究*

叶秀琳

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

王伏雄 钱南芬

(中国科学院植物研究所, 北京 100044)

摘要 本文报道荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)的大小孢子发育。胚珠倒生, 珠被两层, 位于珠孔端靠近珠柄的外珠被不存在, 而有珠孔塞。厚珠心, 孔原细胞直接起大孢子母细胞作用。合点端大孢子具功能。胚囊发育为正常型。小孢子形成连续型, 成熟花粉为二细胞型。雌花柱头为湿型, 具乳突细胞。两个极核在受精前融合。授粉后约 64 小时两个精子分别与卵和次生核融合。三个反足细胞是短命的。胚乳发育为核型。假种皮发生于外珠被。焦核品种的合子不分裂而后逐渐解体; 大核品种的合子分裂发育形成胚。

关键词 荔枝; 雌雄配子体; 珠孔塞; 假种皮; 胚

EMBRYOLOGICAL STUDIES OF LITCHI CHINENSIS

YE Xiu-Lin

(South China Institute of Botany,
Academia Sinica, Guangzhou 510650)

WANG Fu-Xion, QIAN Nan-Fen

(Institute of Botany, Academia Sinica,
Beijing 100044)

Abstract The present paper deals with the embryology of *Litchi chinensis* Sonn. The results are summarized as follows: The ovule is anatropous, with 2 integuments, obturator present, crassinucellar, archesporial functioning directly as the megaspore mother cell. The chalazal megaspore is functional. The development of the embryo sac conforms to the normal type. The formation of the microspores is of successive type. Mature pollen grain is 2-celled. The wet stigma surface has many papillar cells. The polar nuclei fuse before fertilization. Two sperms fuse with egg cell and secondary nucleus respectively 64 hours after pollination. Three antipodal cells are ephemeral. The endosperm is of nuclear type. The aril originates from the outer integument. Zygote of the small seeded varieties degenerated; but that of the large seeded varieties develops normally into mature embryo.

Key words *Litchi chinensis*; Male and Female gametophytes; Obturator; Aril; Embryo

荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)属无患子科荔枝属; 原产我国, 其果实乃岭南四大名果之一, 有很高的经济价值。近年我国在荔枝资源收集和栽培措施等方面进行了不少研

究^[1]。花芽分化,果实形成,成熟花粉的超微结构等方面也有过报道^[2-7]。1944年 Banerji 和 Chaudhri^[8]报道了荔枝的生活史,1960年 Margaret^[9]对中国荔枝的雌配子体也有过研究,但在胚胎学其他方面的研究则不多见。本研究在这方面进行了比较详细和系统的观察,旨在为育种等工作提供依据。

材料和方法

试验材料均采自华南植物园所栽培的植株;包括:糯米糍、桂味、怀枝三个品种。它们都是广东的主要栽培品种,代表栽培品种中的大核和焦核两种类型。糯米糍、桂味为焦核型,怀枝则属大核型。花型是根据广东荔枝志^[1]描述的外部形态特征进行划分。三个品种都在4月中旬开花。在1984年和1985年间,每年从3月分起直到6月,定期固定花芽、花及果实。开花前一个月每隔3天固定一次,开花时进行人工授粉,授粉后70小时内每隔2小时固定一次,以后则隔天固定一次直到授粉后15天止。授粉后15天至授粉后二个月内每周固定一次。Navaschin 固定液固定。常规石蜡切片制片,厚度 $8\mu\text{m}$ 铁矾-苏木精染色。用醋酸洋红压片观察小孢子母细胞的发育进程。雌花柱头和花粉外形用扫描电镜观察^[10]。

观察结果

我们对荔枝的糯米糍、桂味、怀枝三个品种皆进行了较全面的观察比较,在我们所能取得的试样中,只观察到三种花型的花即(1)雌花;(2)雄花;(3)不完全雌蕊的雄花,尚未观察到两性花和变态花。在上述三种类型的花器中都有雄蕊和倒生的胚珠,但是在发育程度上有所差异。三个品种之间其配子体和胚胎发育情况基本类同,但也存在一些不同之处。现就几个主要观察项目分述如下。

1. 大孢子囊、大孢子及雌配子体发育

胚珠原基4月上旬在花中形成,然后胚珠原基分化形成珠心,内珠被和外珠被。珠孔塞发端于雌花中靠近珠柄的外珠被顶端的表层细胞,它们的体积与细胞核均较大,细胞质较浓,苏木精染色较深(图版I: 1, 箭头);随着胚珠的发育,这层较大的细胞体积逐渐增大,并进行平周分裂,形成了多层细胞。这类细胞的形状不规则,具腺细胞特点,它与内外珠被的细胞有明显差异,这群细胞伸展到珠孔外,正好盖着珠孔,形成珠孔塞(图版I: 2)。珠孔由内珠被形成。胚珠倒生,珠心为厚珠心,大孢子母细胞与珠心表皮之间有3—4层细胞。雄花的胚珠只分化为珠心,内外珠被原基,珠孔塞原基,没有大孢子发生就退化(图版I: 3)。不完全雌蕊的雄花其胚珠则分化为珠心,内外珠被,珠孔塞原基发育为一群具腺性的细胞,但不形成珠孔塞。有大孢子发生,大孢子没有发育完全就解体(图版I: 4)。

4月中旬雌花的胚珠纵切面可以看到珠心,接近基部的地方出现体积较大,细胞质浓,细胞核也较大的孢原细胞;孢原细胞直接发育为大孢子母细胞。大孢子母细胞较长(图版I: 5)。减数分裂形成二分体,经第二次分裂形成排列成直线形的四个大孢子,

四个大孢子时期很短, 珠孔端的三个大孢子很快退化, 只有合点端的一个为具功能的大孢子, 功能大孢子第一次分裂 (图版 I: 1)。随后进行第二、三次分裂产生八个游离核, 组成七个细胞八个核的胚囊。此时, 胚囊中的七个细胞的细胞核很大, 细胞质占的比例很少, 原生质较浓, 用苏木精染色时每个细胞很容易染成深黑色。每个细胞的界限不易分清 (图版 I: 6), 胚囊发育为正常型。随着胚囊的发育, 细胞的体积逐渐增大, 形状发生变化。两个助细胞由三角形逐渐转为梨形, 具丝状器, 下端有明显的大液泡, 细胞核位于细胞中央 (图版 I: 7), 卵细胞紧靠着助细胞, 近珠孔端有一个液泡, 核被挤向另一侧 (图版 I: 8)。三个反足细胞排列成成品字形, 细胞质浓, 具腺细胞特点 (图版 I: 9); 在受精前反足细胞就开始解体, 双受精完成后完全消失。两个极核位于胚囊中部稍偏一侧的位置 (图版 I: 6), 随着胚囊的发育两个极核逐渐移向卵细胞下方 (图版 I: 10, 箭头), 受精前两个极核之间的核膜逐渐消失 (图版 I: 11), 核仁融合, 形成次生核 (图版 I: 12)。

少数雌花的胚珠在雌配子体发育过程中细胞解体, 导致胚珠不育。

2. 小孢子囊, 小孢子及雄配子体发育

3 月上旬, 幼小花药的横切面中细胞还未分化。3 月中旬, 可以看到在花药四个角隅处, 表皮以内的细胞分裂较快, 分化出孢原细胞。以后孢原细胞进行平周分裂, 外面的成为初生壁细胞(primary parietal cell)里面的为初生造孢细胞, 并进一步分裂形成次生造孢细胞。初生壁细胞进行垂周和平周分裂, 形成 5—6 层呈同心圆排列的细胞。次生造孢细胞排列紧密, 细胞为多边形, 经过生长发育, 细胞体积逐渐增大, 由多边形变为椭圆形的小孢子母细胞。小孢子母细胞体积较大, 核也大, 原生质浓 (图版 II: 1), 在小孢子母细胞减数分裂前, 花药壁从外到里已分化为一层表皮, 一层药室内壁, 二到四层中层和一层绒毡层。绒毡层细胞具腺细胞特点, 原生质较浓有液泡, 细胞核大, 在小孢子母细胞分裂为二分体的过程中, 有些绒毡层细胞核进行分裂, 结果形成二核的绒毡层细胞。小孢子母细胞进行减数分裂前, 细胞外围产生胼胝质壁, 小孢子母细胞进行减数分裂 I 后, 胼胝质壁把二个核分隔形成二分体 (图版 I: 13)。二分体再分裂, 形成四面体的四分体 (图版 I: 14)。紧接着四分体的细胞由于彼此之间的胼胝质壁溶解而分开, 形成小孢子 (图版 I: 15)。此时绒毡层细胞排列松散, 原生质开始解体。雄花和具不完全雌蕊的雄花它们的小孢子继续发育, 由单核花粉分裂为两个细胞, 一个营养细胞和一个生殖细胞。营养细胞较大, 生殖细胞比较小, 原生质较少, 细胞壁清楚 (图版 I: 16)。这时花药壁的中层细胞只有一至二层的扁平细胞, 细胞呈解体状 (图版 II: 2)。花粉在 2 细胞时期散粉。花粉外形赤道面观呈扁球形, 极面观具钝三角形, 具三孔沟。在扫描电镜下观察, 外壁表面为条纹状纹饰。

在雌花的雄蕊横切面上观察到在四分体形成时, 绒毡层细胞就开始呈疏松的排列, 原生质解体。当四分体的胼胝质壁溶解时, 四个小孢子彼此分开, 绒毡层细胞的细胞核也开始解体, 也就是说绒毡层细胞的解体比较早。单核小孢子没有继续发育为两个细胞, 而是停留在单核阶段, 细胞质逐渐稀少, 苏木精染色渐浅淡, 呈解体状 (图版 I: 17)。开花时花药不开裂, 花粉外形与雄花的花粉外形相同。但是花粉体积较小, 以赤道轴长比较, 雌花的花粉粒只有 $17\mu\text{m}$, 雄花的花粉粒为 $24\mu\text{m}$ 。

三种类型花的新鲜花粉置于加有微量硼的 5% 葡萄糖溶液中, 进行花粉萌发试验, 4 小时后, 雄花和不完全雌蕊的雄花的大多数花粉均萌发, 雌花的花粉不能萌发。

3. 受精和胚的发育

4 月中旬雌雄配子体已发育成熟, 在 4 月 16 日左右开始开花。花柱有通道, 通道内表皮细胞呈不规则形状, 柱头二裂或三裂。扫描电镜观察柱头上方的接受表面(receptive surface), 充满了乳突细胞。乳突细胞的表面光滑, 呈棒状 (长: 宽 > 2), 这一观察结果与 Scholafield^[11] 的描述是一致的。接受表面以外的柱头表面 (包括柱头两侧和下方表面) 被覆许多丁字形毛细胞, 细胞表面均匀分布着许多疣状突起 (图版 II: 3)。开花散粉时, 乳突细胞分泌出许多粘液状物质, 有利于粘着花粉。授粉两小时左右花粉萌发, 花粉管进入花柱道; 授粉 14 小时后乳突细胞开始收缩 (图版 II: 4), 授粉 29 小时左右, 花粉管通过花柱道时, 营养细胞在前, 生殖细胞在后。生殖细胞在花粉管内分裂, 形成两个精细胞 (图版 II: 5 箭头)。授粉后 64 小时左右, 花粉管在珠孔附近的珠孔塞细胞之间穿过。紧靠珠孔的珠孔塞细胞, 在花粉管到达之前发生移动, 稍离开珠孔, 接着细胞开始解体 (图版 II: 6)。当花粉管到达珠孔时, 珠孔外围充满粘液状物质 (图版 II: 7), 其余的珠孔塞细胞在完成双受精以后, 才开始缓慢退化, 细胞质渐少, 苏木精染色渐淡, 一直到 5 月 31 日的材料, 假种皮开始发育时, 仍可看见珠孔塞的残余 (图版 II: 11)。在假种皮迅速生长发育达到种子的 $1/4$ 长时, 珠孔塞才完全消失。花粉管从珠孔进入, 通过助细胞释放出两个精细胞, 分别与卵、次生核结合 (图版 II: 8)。至此, 受精作用完成。

胚乳的发育: 在精细胞与次生核融合过程中, 未见核仁融合。初生胚乳核的核膜清晰易见, 核质较少, 染色较浅, 很容易与次生核区分开来 (图版 II: 9)。授粉后约 68 小时左右, 初生胚乳核已分裂为 6 个核; 授粉后 70 小时, 胚囊中已形成 16 个胚乳游离核。荔枝胚乳为核型 (图版 II: 10)。糯米糍的胚乳核达 26 个左右即停止分裂, 并逐渐解体。

卵细胞与精细胞融合后形成合子。糯米糍的合子不再分裂, 在授粉 70 小时后, 即开始收缩解体, 最后形成空瘪种子。桂味品种双受精完成后的发育情况与糯米糍相似。怀枝则有较大的差异, 怀枝的大多数合子能分裂形成胚, 只有少数合子解体败育。初生胚乳分裂先于合子, 花后 24 天, 胚乳核大约达到几十个时, 合子才进行第一次横分裂。以后进行第二次纵分裂, 然后再多次分裂形成多细胞的球形胚, 直至子叶原基出现形成心形胚。6 月中旬胚已成熟, 形成子叶、下胚轴、胚根和胚芽。子叶非常发达, 细胞内含有大量淀粉粒。胚乳分裂持续时间较长, 退化较迟, 直到子叶形成过程中胚乳核才逐渐解体。荔枝的胚乳核不形成胚乳细胞。

4. 子房及假种皮的发育

荔枝花授粉后 24 小时左右, 柱头明显干枯; 授粉 64 小时后双受精完成, 初生胚乳核连续分裂, 子房增大, 子房和外珠被的细胞迅速分裂生长, 但是果肉的发育比较迟。糯米糍在开花后 20 天左右, 在胚珠的合点端, 靠近珠柄的外珠被基部有一部分细胞分裂较快, 形成隆起的假种皮原基。假种皮原基的细胞在发育初期其形状和大小与外珠被的细胞相同 (图版 II: 12), 在它们出现后的 10 天内, 都没有明显的增长。花后 30 天

左右，才见到珠孔端的外珠被上有一部分细胞分裂加快，形成隆起的假种皮原基，此时整个胚珠的纵切面仍能清楚地把内外珠被区分开来，并可见到珠孔塞的残余（图版Ⅱ：11）。珠孔端的假种皮原基一旦出现，假种皮的生长速度变快，经过3天后，珠孔端的假种皮原基已明显增大，胚珠纵切时假种皮原基呈半椭圆形，内外珠被之间的细胞逐渐相联在一起，珠孔塞只见痕迹（图版Ⅱ：13）。花后37天左右在种子基部就形成一环呈乳白色的假种皮，以后继续迅速向上生长（图版Ⅱ：14）。假种皮细胞较大，原生质较浓，苏木精染色比较深与外珠被的细胞有较明显的差别。花后两个月，假种皮把整个种子包围住，它们的细胞体积增大，细胞内出现大的液泡。后期，假种皮把种子与果皮之间的空隙填满，形成丰满的果肉，果皮相应变薄。假种皮发生见图1。

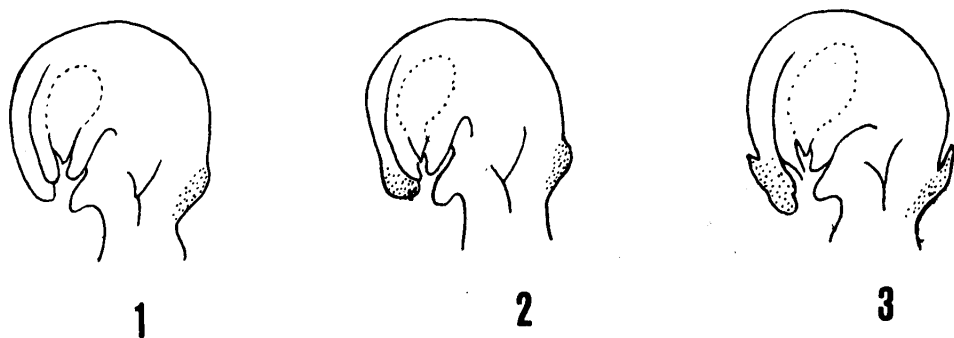


图1. 假种皮发生示意图

1. 靠近珠柄的外珠被基部形成假种皮原基；2. 珠孔端的外珠被形成假种皮原基；3. 假种皮原基向上生长。

Fig 1. The sketch map of aril originating

1. Aril primordium originating from outer integument. 2. Aril primordium on chalazal end of the outer integument. 3. Aril growing.

讨论和结论

根据我们对荔枝不同花型进行胚胎学研究的情况来看，可以把广东荔枝志划分的雌花、雄花和不完全雌蕊的雄花归纳为两大类型：真雌花型和真雄花型。雌花为真雌花型，它们的雄蕊只形成不能萌发的单孢花粉，雌配子体发育正常，只起雌花作用。雄花和不完全雌蕊的雄花为真雄花型，它们的雌配子体无大孢子发生或大孢子发育不全，但2细胞花粉发育正常起雄花作用。雄花和不完全雌蕊的雄花实际上是雌蕊败育，因此称它们为不育雌蕊的雄花更为确切；也应当属真雄花型。

Banerji 等^[8]认为：荔枝的小孢子发育是同时型，不同类型花的花粉粒其形状和大小相同。我们观察结果则有所不同，小孢子发育为连续型，不同类型的花粉虽然都具有三孔沟的外形，但是真雌花型的花粉粒体积明显地小于真雄花型的花粉，花粉粒只停留在单细胞阶段便败育。

雌配子体发育情况与 Margaret 等^[9]的观察基本一致。但是我们还观察到一些不同之处，Margaret 等认为不育雌蕊的雄花与雌花的胚珠一样是八核的蓼型胚囊，但前者在大孢子和雌配子体发生期间解体。我们的观察结果，不育雌蕊的雄花其胚珠只有大

孢子发生, 大孢子没有进一步发育就解体, 因而导致胚珠不育。至于在雌配子体发生期间解体的仅是少数雌花的胚珠。另外 Margaret 等观察到雌花的成熟胚囊中两个助细胞的形状有三角形和梨形或椭圆形, 很难观察到三个反足细胞。我们观察到两个助细胞的大小和形状随着胚囊的发育而改变, 由三角形转变为梨形。三个反足细胞呈品字形排列, 细胞具腺性特点, 在受精前才开始解体。

关于假种皮的发育, Banerji 等^[8]认为是由珠柄和珠孔塞进一步发育而成的。1951 年严楚江^[7]描述荔枝的假种皮发生于珠柄, 而后向上分化将种子完全包围。1957 年 Piji^[12]指出荔枝珠孔塞没有进一步发育。受精后在外珠被 a、b、c 的位置上明显的增厚 (a 和 b 的位置是分别在珠孔端的外珠被; c 的位置是在胚珠合点端靠近珠柄的外珠被上), a 和 c 位置向外突出形成环状的分生组织, 并进一步发育为假种皮。1983 年黄辉白等^[5]也否定了荔枝假种皮是由珠孔塞发育而成的看法, 而认为假种皮原基是在珠柄上发生的。我们观察到假种皮原基分别在外珠被的珠孔端和合点端上发生的, 这两个位置正好与 Piji 所示的 a 和 c 位置相吻合。分析黄辉白等的图版所示的假种皮原基所在位置, 我们认为实际上是外珠被的位置而不是珠柄。因此, 假种皮原基发生的确切位置应该是在外珠被上。荔枝假种皮发生是符合无患子科其他属发生的规律。

珠孔塞的结构在其他的一些植物中也有, 如桂叶芫花(*Daphne laureola*)和印度铁花菜(*Acolypla india*)等, 它们的功能至今还不清楚^[13]。我们在荔枝成熟胚囊中观察到荔枝的珠孔塞在授粉后花粉管到达之前的变化情况, 说明荔枝的珠孔塞与受精作用有一定的关系, 特别是珠孔附近的珠孔塞细胞与受精作用关系密切, 其余的细胞退化非常缓慢, 一直到假种皮迅速发育时才全部消失, 可能还有其他的作用, 需要进一步研究。

荔枝的胚胎发育可分为可育和不育两种类型: (1) 焦核品种如糯米糍、桂味的合子不分裂而后解体, 不能形成胚。胚乳核分裂到一定数量后停止分裂也逐渐解体。(2) 大核品种如怀枝的合子能分裂并发育为成熟胚, 胚乳核在子叶分化时才逐渐解体。焦核品种核小, 没有胚, 假种皮较厚, 这是经过人工长期选育栽培的结果。野生荔枝的种子是大核、有胚, 假种皮较薄^[1]。

致谢 该研究是在喻诚鸿教授的关心和大力支持下完成的。王学海及梁琪芳同志在显微技术方面给予了很大的帮助。

参考文献

- (1) 广东省农业科学院主编. 广东荔枝志. 广州: 广东省科学出版社, 1978: 16—28
- (2) 李沛文. 荔枝花芽分化的研究. 荔枝科技通讯 1983; (1): 11
- (3) 郑玉梅. 荔枝成熟花粉粒的超微结构简报, 华南农学院学报 (三十周年校庆专刊) 1982; 3(3):138
- (4) 黄辉白, 江世尧, 谢昶. 荔枝假种皮的发生和果实的个体发育. 华南农学院学报 1983; 4(4):78—80
- (5) 梁立峰, 季作梁, 李沛文. 荔枝花芽分化过程内源细胞分裂素变化动态的研究. 华南农学院学报 1983; 4(1):37—43
- (6) Shukla R K, Bajpai P N. Blossom bud differentiation and ontogeny in *Litchi* (*Litchi chinensis* Sonn.) *Indian J Hort* 1974; 31:224—228.
- (7) Scholefield P B. A scanning electron microscope study of flowers of avocado, litchi, macadamia and mango. *Scientia Hort* (AMST) 1982; 16:263—272
- (8) Banerji I, Chaudhuri K L. A contribution to the life history of *Litchi chinensis* Sonn. *Proc Indian Acad Sci B*

1944;19: 19—27

- (9) Margaret J. Megagametophytes of the Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) *Proc Amer Soc Hart Sci* 1960; 75: 292—304
- (10) 王学海, 卢乃弟. 用冷冻扫描法观察植物组织培养的新鲜样品. 电子显微镜学报 1986; 5(3):19
- (11) Yen T K. Preliminary observation on the vascular anatomy of the flower and fruits of *Litchi chinensis* and *Euphoria longana*. *Peking Nat Hist Bull* 1951; 19
- (12) Piji Van Der L. On the ariloids of *Nephelium*, *Euphoria*, *Litchi* and *Aseulus*, and the seeds of Sapindaceae in general. *Acta Botanica Neerlandica* 1957; 6:618—641
- (13) Maheshwari. An Introduction to the embryology of Angiosperms. 1950; 185—187

图版说明

图版 I 1.三个大孢子解体, 合点端大孢子分裂为二核胚囊。内外珠被, 珠孔塞原基(箭头)。×500; 2.胚囊成熟时的内外珠被和珠孔塞。×150; 3.真雄花型的败育胚珠, 没有大孢子发生。×200; 4.真雄花型(不完全雌蕊的雄花), 示败育胚珠, 大孢子解体。×200; 5.胚珠纵切面, 示大孢子母细胞和厚珠心。×500; 6.七个细胞八个核的胚囊。×500; 7.成熟胚囊, 示两个助细胞具丝状器和大液泡。×800; 8.卵细胞, 珠孔端有个大液泡, 卵核被挤到靠边的细胞质中。×1000; 9.三个反足细胞呈品字形排列。×1000; 10.卵细胞和两个极核(箭头所指)紧靠在一起。×1000; 11.两个极核正在融合。×1000; 12.次生核, 核膜不清。×1000; 13.小孢子母细胞分裂成二分体。×1000; 14.四面体形的四分体包围在胼胝质壁中。×1000; 15.真雄花型(雄花)的单核花粉。×1000; 16.真雄花型(雄花)的二细胞花粉。营养细胞和生殖细胞。×1000; 17.真雌花型(雌花)的单核花粉。×1000

图版 II 1.花药横切面, 示孢原细胞和花药壁。×500; 2.花药横切面, 示单核花粉, 1—2 层中层, 绒毡层细胞开始解体。×500; 3.扫描电镜示柱头表面的腺细胞和外侧的丁字型毛细胞。×550; 4.扫描电镜示授粉 14 小时后的柱头表面, 腺细胞收缩和萌发的花粉。×550; 5.花粉管中的营养核和生殖细胞(箭头所示)。×1000; 6.靠近珠孔的珠孔塞细胞开始解体。×300; 7.花粉管进入珠孔, 珠孔外充满粘液物质。×300; 8.示两个精细胞分别与卵和次生核结合。×1000; 9.初生胚乳核, 核仁未融合, 核膜清晰。×1000; 10.合子和核型胚乳。×500; 11.珠孔端的外珠被形成假种皮原基和退化的珠孔塞。×50; 12.合点端的外珠被基部隆起形成假种皮原基。×150; 13.珠孔端的假种皮原基生长发育, 珠孔塞继续退化。×50; 14.假种皮进一步发育, 假种皮高度有种子的 1/4, 珠孔塞完全退化。×50

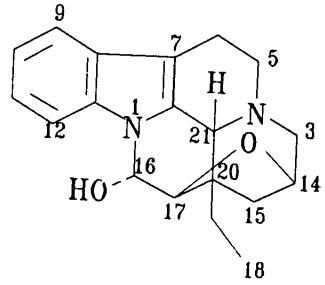
Explantation of the plates

Plate I 1. Showing embryo sac, integuments and obturator. ×500; 2. Two integuments and obturator. ×150; 3. Male flower showing ovule degenerated. ×200; 4. Male flower showing ovule, degenerated megaspore mother cell, two integuments and obturator. ×200; 5. Longitudinal section of ovule, showing megaspore mother cell and crassinucellus. ×500; 6. Mature embryo sac with two synergids, one egg cell, two polar nuclei and three antipodals. ×500; 7. Mature embryo sac showing two synergids with filiform apparatus and large vacuole. ×800; 8. Egg cell. ×1000; 9. Three antipodal cells arranged in triangular form. ×1000; 10. Egg cell and two polar nuclei in contact. ×1000; 11. Two polar nuclei fusing. ×1000; 12. Secondary nucleus. ×1000; 13. Microspore mother cell divided into dyad. ×1000; 14. Tetrahedral tetrad surrounded by callose wall. ×1000; 15. Male flower, showing 1—nucleate pollen grain. ×1000; 16. Male flower, showing 2—celled pollen. ×1000; 17. Female flower, showing 1—nucleate pollen grain. ×1000

Plate II 1. Cross section of anther, showing archesporial cell and anther wall. ×500; 2. Cross section of anther, showing 1—nucleate pollen grains, 2—layered middle layer, tapetum and tapetum in degeneration. ×500; 3. Showing papillate cells and T-shaped hair cells on stigma surface. ×550; 4. Female flower showing pollen germinating on stigma surface. ×550; 5. Vegetative nucleus and generative cell in pollen tube. ×1000; 6. Obturator cells nearby endostome being degenerated. ×300; 7. Pollen tube in endostome, and micropyle surrounded by viscous liquid. ×1000; 8. Double fertilization. ×800; 9. Primary endosperm nucleus, nucleolus not fused, nucleus clearly enveloped. ×1000; 10. Zygote and nucleate endosperm. ×500; 11. Aril primordium originating from outer integument, obturator degenerated. ×50; 12. Aril primordium on chalazal end of the outer integument. ×150; 13. Showing aril development and vestige of obturator. ×50; 14. Aril growing to a length about 1/4 of the seed, and obturator completely degenerated. ×50

〔上接 32 页〕

^{13}C NMR (CDCl_3): δ 134.3 (s, C-2), 46.3 (t, C-3), 50.0 (t, C-5), 18.6 (t, C-6), 110.0 (s, C-7), 130.0 (s, C-8), 118.4 (d, C-9), 122.0 (d, C-10), 121.0 (d, C-11), 110.1 (d, C-12), 137.9 (s, C-13), 80.7 (d, C-14), 40.6 (t, C-15), 67.0 (d, C-16), 81.6 (d, C-17), 9.2 (q, C-18), 26.2 (t, C-19), 44.0 (s, C-20), 56.6 (d, C-21)。从上述偏共振去偶谱中观察到 5 个季碳, 8 个叔碳, 5 个仲碳, 1 个伯碳。与 eburnamine (6 个叔碳, 7 个仲碳) 比较, 多 2 个叔碳少 2 个仲碳, 与存在 1 个氧桥相符。连接的位置, 因没增加季碳, 所以不会连在 C-16 位上, 因此化合物 1 的结构可推定为 14, 17-epoxy-eburnamine(1)

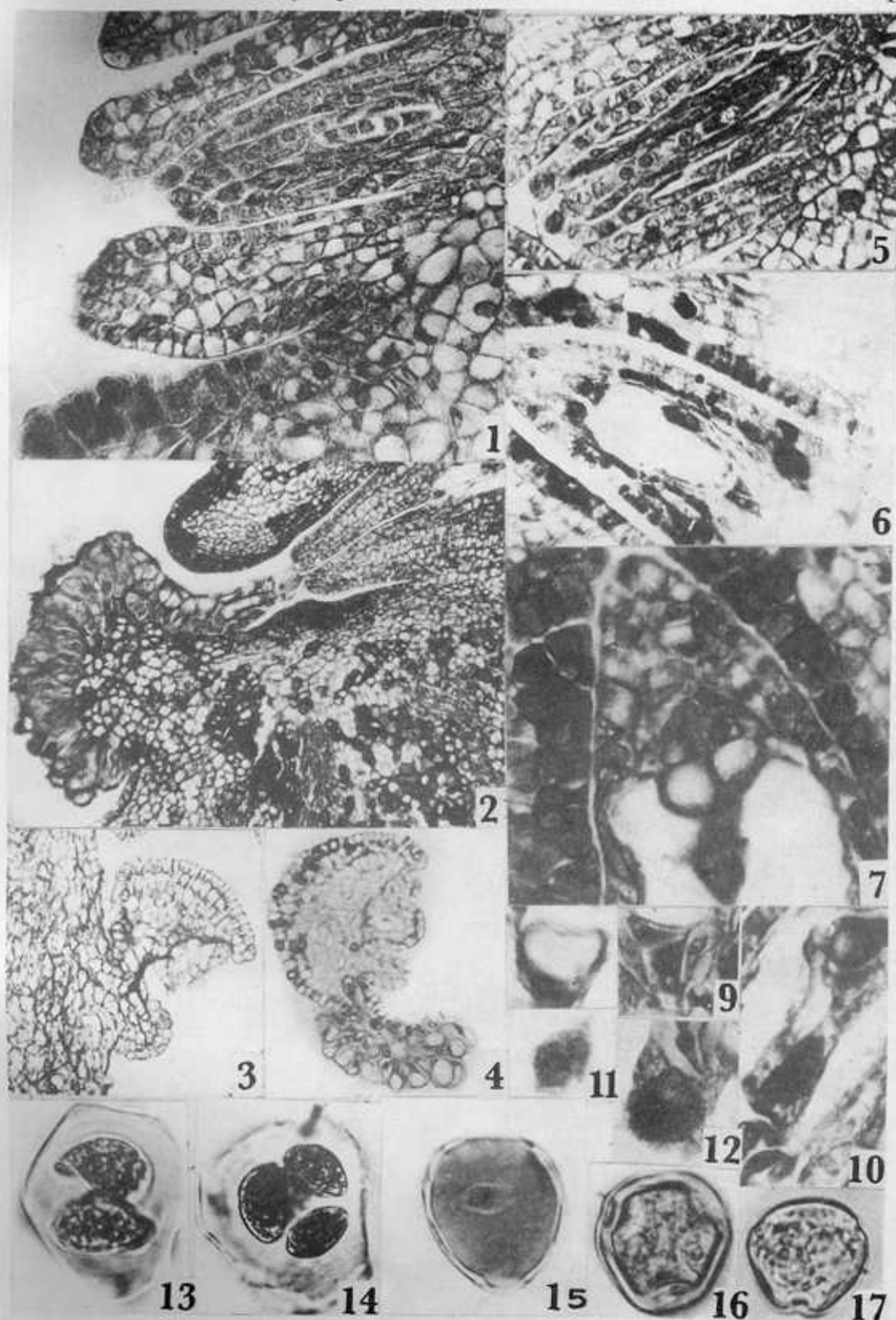


(1)

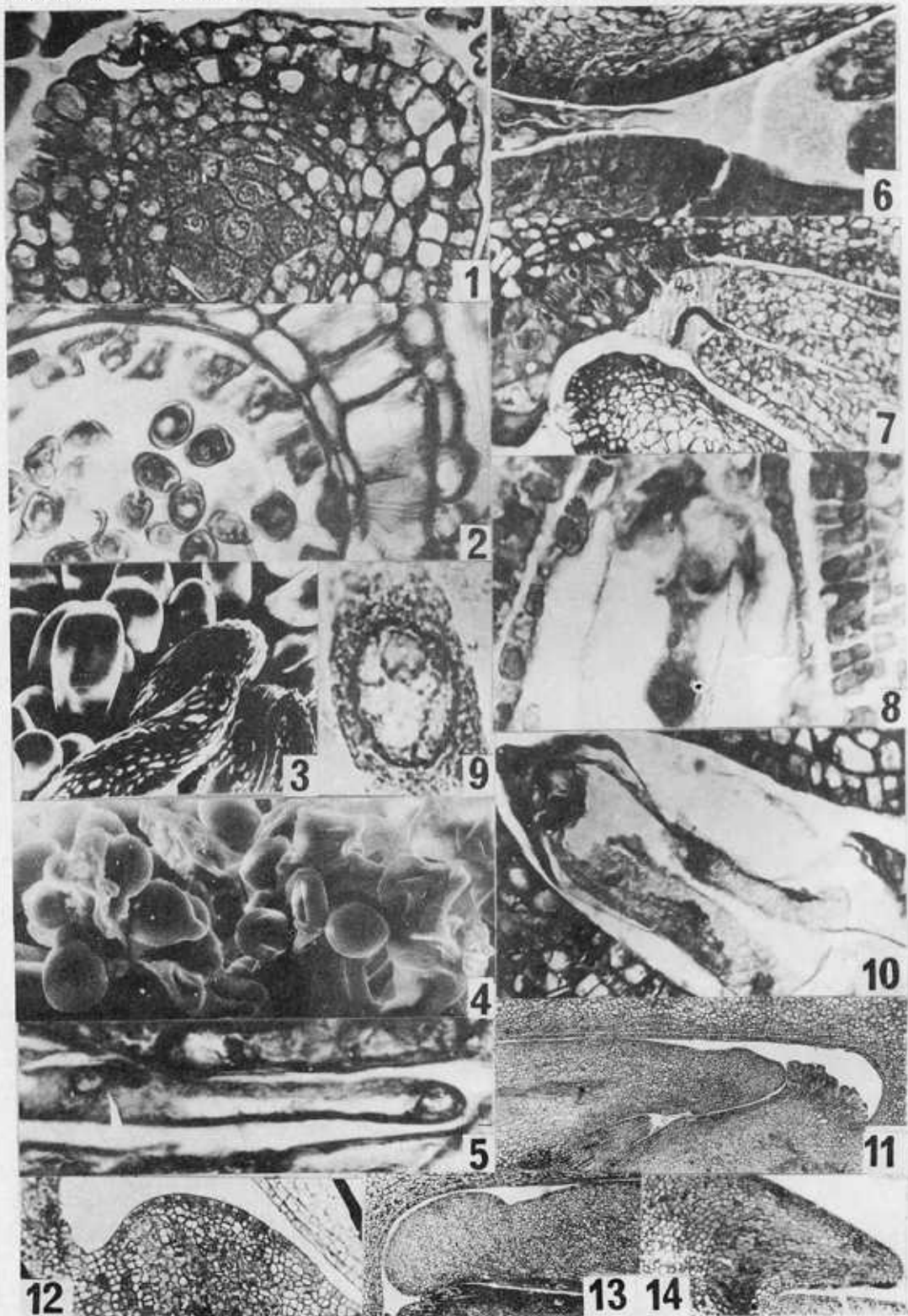
致谢 王丽同志参加部分工作; 上海药物所分析室测定波谱.

参考文献

- (1) 李朝明、吴曙光、陶国达等. 思茅山橙化学成分研究 (一), 中草药 1987; **18** (2): 4—5
- (2) 李朝明、陶国达、吴曙光等. 思茅山橙中的吲哚生物碱. 植物学报 1989; **31** (10): 792—797
- (3) Batlett MF, Taylor WI J. The alkaloids of *Hunteria eburnia*, I the structure of eburnamine, isoeburnamine, eburnamenine and eburnamonine a sythesis of Ras-eburnamonine. *J Am Chem Soc* 1960; **82** : 5941



See explanation at the end of text



See explanation at the end of text